

*Control of Pathogens in Liquid Swine Manure  
Using Nitrogen and Phosphorus Treatment.*

*Pp. 69-79*

*Porcine Monograph National Institute of Agricultural  
Research (Spain)*

**CONTROL DE PATÓGENOS  
EN LOS PURINES DE CERDO  
MEDIANTE EL TRATAMIENTO  
DEL NITRÓGENO Y  
DEL FÓSFORO**



**M.B. Vanotti<sup>1</sup>, P.D. Millner<sup>2</sup>, P.G. Hunt<sup>1</sup>, A.Q. Ellison<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ministerio de Agricultura de Estados Unidos. ARS (Servicio de Investigación Agrícola).  
Centro de Investigación del Coastal Plains. W. Lucas St. Florence, SC, EE.UU.

<sup>2</sup>Ministerio de Agricultura de Estados Unidos. ARS (Servicio de Investigación Agrícola).  
Laboratorio de Patógenos en Residuos Animales. Baltimore. Beltsville, MD, EE.UU.

---

---

Últimamente ha aumentado mucho la preocupación por la posible contaminación de las aguas, los alimentos y el aire debido a los patógenos existentes en el estiércol, los subproductos del estiércol y los bioaerosoles. Hemos valorado la reducción de los patógenos en un sistema de tratamiento de purines de varias fases, la primera de las cuales consiste en separar los sólidos y los líquidos mediante el uso de polímero, seguida de una fase de eliminación biológica del nitrógeno (N) por medio de la nitrificación y la desnitrificación, para a continuación en una última fase extraer el fósforo (P) mediante una precipitación en medio alcalino. Cada fase del sistema de tratamiento ha sido evaluada en relación con su efectividad en la eliminación de patógenos e indicadores de patógenos, realizándolo mediante el recuento de coliformes totales y fecales, enterococos y salmonellas utilizando medios nutritivos selectivos y diferenciales. Nuestros resultados indican que el tratamiento de nitrificación/desnitrificación es sumamente eficiente para reducir los patógenos en los purines de cerdo y que la fase de eliminación del fósforo por medio de la precipitación alcalina con calcio produce un efluente higienizado que puede resultar importante por razones de bioseguridad.

---

---

## INTRODUCCIÓN

**E**s bien conocida la utilidad de los procesos de compostaje, de secado por calor y de estabilización alcalina a la hora de destruir los microorganismos contenidos en el estiércol sólido y en los biosólidos en general. Sin embargo, poco es lo que se sabe acerca de las tasas de reducción de patógenos en los nuevos tratamientos desarrollados para el purín líquido y los efluentes de aguas residuales. Hemos desarrollado un sistema alternativo para el tratamiento de los purines de cerdo con miras a sustituir la tecnología de las lagunas anaeróbicas que habitualmente se utiliza en EE.UU., para tratar los residuos porcinos. En este sistema multifase, el primer paso es separar los sólidos y los líquidos con el polímero poliacrilamida (PAM), seguido de una eliminación biológica del N utilizando la nitrificación y la desnitrificación, para luego extraer el P mediante un proceso de precipitación alcalina con calcio. El sistema piloto ha sido testado con éxito durante dos años en la Unidad Porcina del Laboratorio Lake Wheeler Field Rd. de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. Durante un periodo de tres meses correspondientes al segundo año del estudio (julio-octubre de 2001), evaluamos la forma en que se reducían los patógenos con cada una de las unidades de proceso que constituían el conjunto del sistema. Basándose en estos estudios, actualmente se está construyendo en el condado Duplin en Carolina del Norte, un sistema a escala real para una demostración y verificación de

Tecnología Medioambiental Superior, bajo el programa acordado entre Smithfield Foods, Inc., Premium Standard Farms y el Fiscal General de Carolina del Norte. La razón hay que buscarla en una moratoria para la construcción de nuevas explotaciones de cerdos que usan la tecnología tradicional de lagunas anaerobias y campos de aspersión para el manejo de los purines, y a las serias críticas a la que es objeto esta tecnología. Este acuerdo entre el Fiscal General de Carolina del Norte y el mayor grupo de producción de cerdos del mundo intenta proveer una solución sustentable al problema de los purines mediante el desarrollo y demostración de Tecnologías Medioambientales Superiores que puedan eliminar la contaminación de nutrientes, los patógenos, los malos olores, y las emisiones de amoníaco provenientes de los purines en una manera económica y viable. Una vez identificadas las nuevas tecnologías en el 2003, como parte del acuerdo las empresas transformarán sus instalaciones e irán reduciendo las actuales lagunas y campos de aspersión. En conjunto, Smithfield y Premium Standard representan más del 75% de las granjas porcinas de Carolina del Norte.

## FASE DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS-LÍQUIDOS

Ya ha quedado demostrada la utilidad de los polímeros para flocular y aumentar la eficiencia de separación de los sólidos en los purines de cerdo (Vanotti y Hunt, 1999). Junto con los sólidos, se produce una captura im-

portante de nutrientes orgánicos asociados al agrupamiento de diminutas partículas que, por lo general, escapan a los tamices u obstruyen los filtros de arena. En este sistema piloto, hemos utilizado para la separación de sólidos un inyector y mezclador de PAM en línea para flocular los sólidos en el purín. Además, usamos dos lechos filtrantes de arena para separar los sólidos una vez floculados y posteriormente deshidratarlo (Vanotti y otros, 2002a). Primero, el estiércol fue mezclado en un tanque de homogeneización y bombeado a razón de 500 L/min a la unidad de inyección y mezclado de polímero. De ahí la mezcla fue aplicada a un lecho filtrante de arena para separar los sólidos floculados (fig. 1). Los filtros recibían una altura aproximada de 30 cm de líquido en cada ciclo. El polímero utilizado en estas pruebas ha sido el Magnifloc c-1596, de Cytec Industries, Inc\* que es catiónico y tiene una moderada densidad de carga.



Fig. 1.— Después del tratamiento con polímero, el purín se pasa por un lecho filtrante de arena para separar los sólidos floculados (Matias Vanotti).

## FASE DE ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DEL NITRÓGENO

Los niveles de nitrógeno amoniacal y fósforo solubles, que pueden constituir un 35%-45% del N-total y un 15%-25% del P-total respectivamente, precisan de un ulterior tratamiento cuando no hay suficientes tierras en la granja donde realizar una

reutilización agronómica. Para tratar el efluente tras la separación de los sólidos con PAM se ha empleado un sistema (módulo Biogreen) que utiliza perlas de gel o pellets nitrificantes (fig. 2) dispuestos en un tanque aireado. Además, se emplean fangos denitrificantes en tanques anóxicos (Vanotti y otros, 2000a). La unidad piloto fue diseñada para tratar 1 m<sup>3</sup> diario de líquido en invierno con 10°C de temperatura del agua. Esta unidad estaba compuesta por:

- Un tanque anóxico de denitrificación de 1,3 m<sup>3</sup> con ~ 3 g/L MLVSS para eliminar el carbón soluble y facilitar la conversión de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en N<sub>2</sub>.
- Un tanque de nitrificación de 0,55 m<sup>3</sup> con 100 L de pellets nitrifi-

\*La mención de una marca comercial, de un producto de propiedad o de un vendedor no constituye garantía o declaración alguna sobre el producto por parte del Ministerio de Agricultura de EE.UU., como tampoco comporta su aprobación de cara a la exclusión de otros productos o vendedores que también pudieran resultar adecuados.



Fig. 2.— Las bacterias nitrificantes dentro de estos pellets plásticos eliminan el amonio de las aguas residuales ganaderas (Rob Flynn).

cantes de polietilenglicol (PEG) para la conversión de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ :

- Un segundo tanque 0,63 m<sup>3</sup> con inyección de metanol para la post-de-nitrificación.
- Un tanque óxico de 20 L para mejorar la decantación.
- Un tanque de 0,63 m<sup>3</sup> para la decantación de los sólidos en suspensión

que son reciclados al primer tanque (figs. 3 y 4).

Los pellets fueron suministrados por Hitachi Plant Construction & Engineering Co. del Japón. Transcurridos 60 días iniciales de aclimatación, su capacidad nitrificadora era de 790 g N/100-L pellets por día. El agua nitrificada era recirculada continuamente

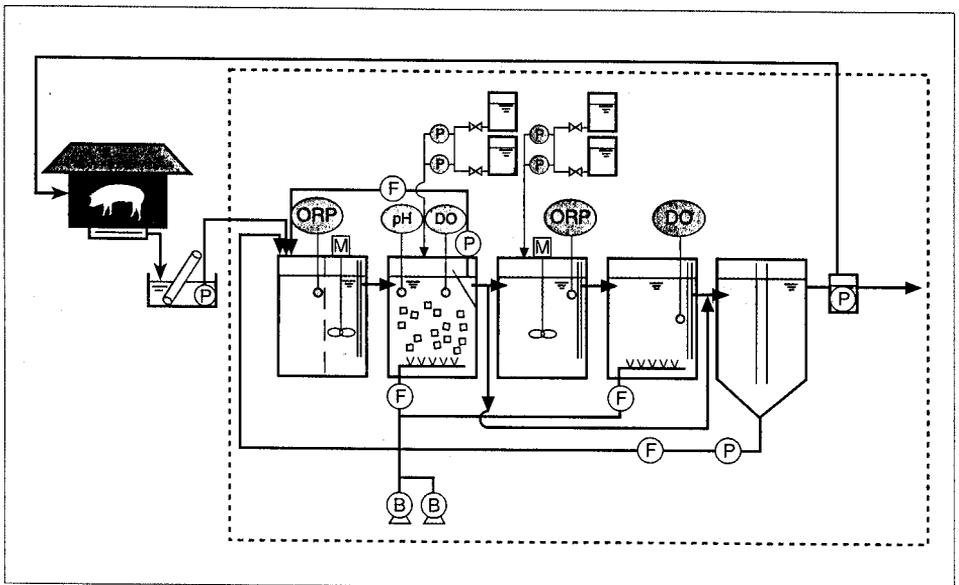
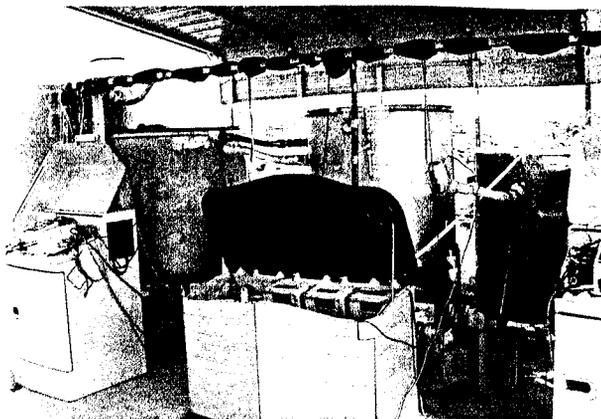


Fig. 3.— Esquema del módulo Biogreen usado para la eliminación biológica del amonio.

Fig. 4.— Unidad piloto Biogreen instalada en la granja Lake Wheeler Rd. de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (Matias Vanotti).



te al primer tanque de denitrificación a un caudal de  $5 \text{ m}^3/\text{día}$  y el sedimento de decantación era reciclado al mismo tanque a razón de  $0,5 \text{ m}^3/\text{día}$  (fig. 5).

### FASE DE EXTRACCIÓN DEL FÓSFORO

Una vez que se han reducido sustancialmente las concentraciones de amoníaco y la alcalinidad de carbonato en el tratamiento de nitrificación, la adición posterior de un compuesto

con un metal alcalinotérreo incrementa rápidamente el pH del líquido por encima de 9, lo que origina la formación de un precipitado fosfatado con pequeñas cantidades de productos químicos añadidos (Vanotti et al., 2001, 2002b). A tal efecto, el efluente tras la eliminación biológica del N se mezcló con cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en un reactor (fig. 6). Posteriormente fue decantado en un tanque con fondo cónico, por donde el precipitado (fig. 7) fue sacado y después deshidratado. Se inyectaron productos químicos pa-

Fig. 5.— Purín de cerdo antes (izquierda) y después de tratamiento con los procesos de separación de sólidos y eliminación del nitrógeno en la unidad piloto en la granja Lake Wheeler Rd (Rob Flynn).



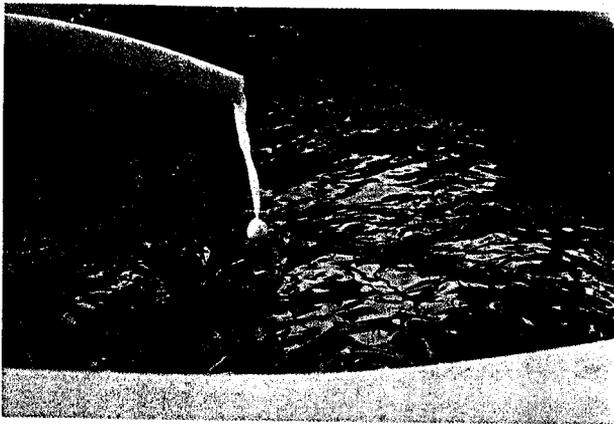


Fig. 6.— Añadido y mezclado de lechada de cal en el proceso de extracción de fósforo contenido en las aguas residuales provenientes de la producción pecuaria (Matias Vanotti).

ra alcanzar un valor establecido de pH de 10,5, con el doble propósito de precipitar el P y destruir los patógenos. La cantidad de calcio aplicada fue de 2,1 mol por 1 mol de P contenido en las aguas residuales.



Fig. 7.— April Ellison, química del ARS, inspecciona la separación del fósforo en forma de fosfato de calcio usando el nuevo proceso desarrollado por USDA en un sistema piloto en la Universidad Estatal de Carolina del Norte (Matias Vanotti).

## MATERIAL Y MÉTODOS

A lo largo de tres meses (julio-octubre) se obtuvieron muestras compuestas que fueron obtenidas cinco veces con unas tres semanas de separación entre muestreo. Las muestras fueron obtenidas en los siguientes cuatro puntos en el sistema:

- En el tanque de homogeneización que recibe y mezcla el purín originado en los establos.
- En el efluente del filtro de arena después de la fase de separación de líquidos y sólidos (post-polímero).
- En el efluente después de la fase biológica de nitrificación/denitrificación (post-eliminación de N).
- En el efluente después de la fase de extracción del fósforo (post-eliminación de P).

Un juego de muestras duplicadas fue transportado durante la noche en bolsas de hielo al Laboratorio de Patógenos de Residuos Animales del Servicio de Investigación Agrícola (USDA-ARS) en Beltsville, MD, para el análisis microbiano (tabla IV). Otro juego duplicado de muestras fue transportado en hielo al Centro de Investigación del Servicio de Investigación Agrícola del Coastal Plains en Florence, SC, para el análisis de calidad del agua (tablas I, II y III). Antes del análisis microbiano, el pH de las muestras de post-eliminación del P se redujo de 10,3 a 8,0 empleando 6N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

## ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Cada fase del proceso del sistema de tratamiento ha sido valorada en re-

lación con su efectividad en reducir los patógenos mediante un recuento de los coliformes fecales y totales, los enterococos y las salmonellas en medios nutritivos selectivos y diferenciales utilizando los protocolos estandarizados para el examen de patógenos y microbios indicadores de patógenos en los compost y en las aguas residuales (fig. 8). Los coliformes fecales y los *E. coli* fueron enumerados utilizando placas de agar MacConkey conteniendo 100 µg/mL de MUG. La incubación de estas placas a 44,5°C seleccionó a los coliformes fecales; el halo azul fluorescente en torno a la colonia cuando fueron expuestos a la luz UV a 365nm fue indicador de la presencia de *E. coli*. Se hizo un recuento de los coliformes totales en agar MacConkey incubado a 37°C durante toda la noche, de los enterococos en un agar para *Enterococcus* modificado que fue incubado a 37°C durante toda la noche y de las Salmonellas mediante la técnica de inoculación en espiral en agar XLT4 e incubación de las placas a 37°C. Las colonias predominantes fueron selec-

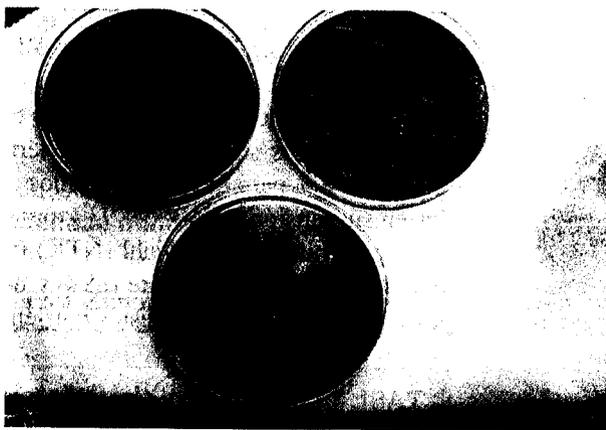


Fig. 8.— Tres platos con colonias de bacterias en medios nutritivos selectivos después de haber sido incubados 18 a 24 horas a 37°C. El plato de la izquierda muestra colonias de Salmonella sobre agar XLT4, el plato de la derecha es *E. coli* sobre agar MacConkey, y el plato de abajo (colonias color amarillo) es *E. coli* sobre XLT4 (Pat Millner).

cionadas y se llevó a cabo un análisis inmunológico específico para los serotipos de Salmonella para confirmar su presencia (fig. 9).



Fig. 9.— Transferencia de colonias de Salmonella con aguja esterilizada en el Laboratorio del ARS de Patógenos en Residuos Animales en Beltsville, MD (Pat Millner).

## RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Los resultados se expresan en las tablas I, II, III y IV. En la fase de separación de sólidos se obtuvieron por término medio unas eficiencias de separación del 98% para el total de sólidos en suspensión (SST) y de sólidos volátiles en suspensión (SSV), del 93% para DBO<sub>5</sub>, del 77% para fósforo total y del 66% para nitrógeno kjeldahl (NTK) (tabla I). Los N y P orgánicos fueron separados de manera eficiente (88% y 84% respectivamente), pero permanecían las fracciones solubles de estos nutrientes.

**TABLA I Resultados de la separación de sólidos-líquidos en el proceso de tratamiento de fase múltiple<sup>a</sup>**

	Tanque de homogeneización (mg/L)	Post-polímero (mg/L)	Eficiencia de separación (%)
SST	10.591	190	98
SSV	8.563	145	98
DBO <sub>5</sub>	2.932	217	93
NTK	688	232	66
P total	480	112	77

<sup>a</sup>Floculación con polímero y filtración con lecho de arena.

Los resultados del módulo de eliminación biológica del nitrógeno se ajustaron bien a las expectativas del diseño, suprimiendo el 95% de NTK y todo el amonio de las aguas residuales (tabla II). La alcalinidad natural de las aguas residuales (1380 mg/L) fue suficiente para una nitrificación completa, sin necesidad alguna de agregar suplementos alcalinos.

**TABLA II Resultados de la fase de eliminación biológica de nitrógeno en el sistema del tratamiento de fase múltiple<sup>a</sup>**

	Post-polímero (mg/L)	Post-eliminación N (mg/L)	Eficiencia de eliminación (%)
Alcalinidad	1.381	338	76
DBO <sub>5</sub>	217	56	74
NTK	232	11	95
Amonio-N	173	0	100

<sup>a</sup>Nitrificación/dentrificación tras separación de sólidos.

El tratamiento de eliminación de fósforo redujo efectivamente el fósforo en el efluente final (tabla III) y además produjo un material fertilizante con un contenido de 17% de  $P_2O_5$ .

**TABLA III Resultados de la fase de eliminación del fósforo en el sistema de tratamiento de fase múltiple<sup>a</sup>**

	Post-eliminación de N	Post-eliminación de P	% eficiencia
pH	7,6	10,3	-
Alcalinidad	338	364	-
DBO <sub>5</sub>	56	4	93
P Total	75	7	91
PO <sub>4</sub> -P	54	1	98

<sup>a</sup>Salvo pH, los valores son concentraciones en mg/L.

Antes de empezar con el tratamiento, las concentraciones de coliformes totales y fecales eran, respectivamente, de  $1,10 \times 10^7$  unidades de formación de colonias (ufc)/mL, y de  $1,28 \times 10^6$  ufc/mL (tabla IV). Asimismo, la concentración de enterococos era de  $9,52 \times 10^5$  ufc/mL y la concentración de salmonellas de  $2,3 \times 10^4$  ufc/mL (tabla V). Los resultados microbiológicos han mostrado una tendencia continuada a la reducción de los patógenos como resultado de cada fase del sistema de tratamiento.

**TABLA IV Análisis microbiológicos de enterococos y salmonellas en los efluentes en cada fase del sistema de tratamiento<sup>a</sup>**

Punto de tratamiento	Total de coliformes (ufc/mL)	Eficiencia de eliminación (%)	Coliformes fecales (ufc/mL)	Eficiencia de eliminación (%)
• Tanque homogeneización	$1,10 \times 10^7$	-	$1,28 \times 10^6$	-
• Post-polímero	$2,30 \times 10^6$	79.091	$4,26 \times 10^5$	66.719
• Post-nitrificación/denitrificación	$3,05 \times 10^2$	99.997	$6,80 \times 10^1$	99.995
• Post-eliminación fósforo	$< 3,5 \times 10^1$	100.000	$< 1,8 \times 10^1$	100.000

<sup>a</sup>Los valores son de unidades de formación de colonias (ufc) por mL para muestras duplicadas para cinco repeticiones del sistema; < indica que no existían colonias que contar, por lo que sólo puede calcularse el valor límite de umbral superior.

**TABLA V Análisis microbiológicos de enterococos y salmonellas en los efluentes en cada fase del sistema de tratamiento<sup>a</sup>**

Punto de tratamiento	Enterococos (ufc/mL)	Eficiencia de eliminación (%)	Salmonellas confirmadas <sup>b</sup> (ufc/mL)	Eficiencia de eliminación (%)
• Tanque homogeneización	9,52 x 10 <sup>5</sup>	-	2,32 x 10 <sup>4</sup>	-
• Post-polímero	1,59 x 10 <sup>5</sup>	83.298	7,21 x 10 <sup>3</sup>	68.922
• Post-nitrificación/denitrificación	4,10 x 10 <sup>1</sup>	99.996	3,10 x 10 <sup>2</sup>	98.664
• Post-eliminación fósforo	< 2,1 x 10 <sup>1</sup>	100.000	< 2,1 x 10 <sup>1</sup>	100.000

<sup>a</sup>Los valores son de unidades de formación de colonias (ufc) por mL para muestras duplicadas para cinco repeticiones del sistema; < indica que no existían colonias que contar, por lo que sólo puede calcularse el valor límite de umbral superior.

<sup>b</sup>Salmonellas positivas fueron confirmadas mediante test serológico.

En general, las concentraciones más bajas de salmonellas y de indicadores de patógenos tuvieron lugar después de las fases de nitrificación/denitrificación y de eliminación del fósforo. La separación sólidos-líquidos con polímero redujo los microorganismos entre el 67% y el 83%. La eliminación biológica del N en condiciones alternativamente anóxicas y óxicas destruyó una gran cantidad de los microbios, con reducciones totales de 5 logs o unidades logarítmicas (99,997%) para los coliformes totales, 4 logs para coliformes fecales y enterococos, y de 2 logs para las salmonellas. El proceso de eliminación del N recicla el líquido varias veces entre tanques aerados (óxicos) y tanques sin aire (anóxicos) y propicia también el uso de carbono endógeno durante la denitrificación. Nuestros datos sugieren que estas condiciones son extremadamente efectivas para la destrucción de los patógenos. Las salmonellas y los indicadores de patógenos fueron eliminados con el tratamiento del fósforo en la secuencia de tratamiento, debido al elevado pH (10,3) del proceso. No había colonias que contar en el valor límite del umbral superior de < 3 x 10<sup>1</sup> ufc/mL.

## SÍNTESIS

Poco es lo que se sabía acerca de las tasas de reducción de patógenos en los nuevos tratamientos desarrollados para el purín líquido y los efluentes de aguas residuales. Nuestros resultados indican que el tratamiento de nitrificación/denitrificación es sumamente efectivo en la reducción de patógenos en el purín porcino y que el tratamiento de eliminación del fósforo a través de la precipitación con calcio en medio alcalino produce un efluente higienizado que puede ser importante por razones de bioseguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Vanotti MB, Hunt PG. 1999. Solids and nutrient removal from flushed swine manure using polyacrylamides. Transactions of the ASAE, 42(6): 1833-1840.
- Vanotti MB, Hunt PG, Rice JM, Humenik FJ. 2000. Nitrifying high-strength wastewater. Industrial Wastewater, Sept/Oct: pp. 30-36. Water Environment Federation, Alexandria, VA, USA.
- Vanotti MB, Szogi AA, Hunt PG. 2001. Sistema de tratamiento de aguas residuales. Solicitud de Registro de Patente, N° de Serie. 09/903,620. Oficina de Patentes y Marcas de EEUU, Washington, DC, EEUU.
- Vanotti MB, Ellison AQ, Rice JM, Hunt PG, Humenik FJ y Baird CA. 2002a. Solid-liquid separation of swine manure with polymer treatment and sand filtration. ASAE Documento N° 02-4158. St. Joseph, Mich: ASAE.
- Vanotti MB, Szogi AA, Hunt PG. 2002b. Extraction of soluble phosphorus from swine wastewater. ASAE Documento N° 02-4098. St. Joseph, Mich: ASAE.
- 

---

**M+PAC® Composición por dosis 1 ml:** *Mycoplasma hyopneumoniae* inactivado  $\geq 1$  UR (\*)

\* Unidad Relativa definida respecto a una vacuna de referencia.

**Especies de destino:** Porcino de cebo desde los 7 días de edad. **Indicaciones de uso:** Para la inmunización activa de cerdos sanos frente a infección causada por *Mycoplasma hyopneumoniae*, a fin de reducir la frecuencia y gravedad de lesiones pulmonares (demostrado en estudios de laboratorio controlados) y para inducir seroconversión (demostrado bajo condiciones de campo). Se ha demostrado protección a los 35 días tras la dosis inicial. La duración de inmunidad es de al menos 6 meses a partir de la vacunación inicial.

**Precauciones:** No vacunar animales enfermos. No vacunar animales gestantes o en lactación. Se recomienda que no se administre ninguna otra vacuna en los 14 días anteriores o posteriores a la vacunación con este producto. Los viales parcialmente utilizados de la vacuna deben ser desechados en las 8 horas posteriores a su apertura. Si usted se inyecta accidentalmente con este producto busque atención médica inmediata incluso si sólo se ha inyectado una pequeña cantidad y lleve el prospecto consigo.

**Tiempo de espera:** cero días. Prescripción veterinaria. Manténgase fuera del alcance de los niños. Uso Veterinario. **Reg N°:** 1456 ESP. Schering-Plough, S.A. Km 36, Carretera Nacional I. 28750 San Agustín de Guadalix, Madrid